

BEZPIECZEŃSTWO PACJENTA I PERSONELU MEDYCZNEGO W PRACOWNI REZONANSU MAGNETYCZNEGO

PATIENTS AND MEDICAL STAFF SAFETY IN THE MAGNETIC RESONANCE DEPARTMENT

Małgorzata Dobrowolska-Bąk^{A,B,E}, Anna Dubis^{A,C,D}, Łukasz Brandt^B, Karolina Rożnawska^B, Izabela Herman-Sucharska^A

Zakład Elektromagnetyzmu, IF Wydział Nauk o Zdrowiu, Uniwersytet Jagielloński Collegium Medicum, Kraków

Authors' contribution | Wkład autorów:

A. Study design/planning | zaplanowanie badań • B. Data collection/entry | zebranie danych
• C. Data analysis/statistics | dane – analiza i statystyki • D. Data interpretation | interpretacja danych • E. Preparation of manuscript | przygotowanie artykułu • F. Literature analysis/search | wyszukiwanie i analiza literatury • G. Funds collection | zebranie funduszy

Adres do korespondencji:

Małgorzata Dobrowolska-Bąk
Zakład Elektromagnetyzmu
Uniwersytet Jagielloński Collegium Medicum
ul. Michałowskiego 12
31-126, Kraków, Polska
e-mail: malgorzata.dobrowolska-bak@uj.edu.pl

PRZESŁANE: 25.10.2018

AKCEPTACJA: 5.12.2018

DOI: <https://doi.org/10.5114/ppiel.2018.80818>

STRESZCZENIE

W praktyce klinicznej badania metodą rezonansu magnetycznego (*magnetic resonance* – MR) znajdują coraz więcej zastosowań. Dynamiczny rozwój tej metody obrazowania wiąże się z ciągłym wzrostem liczby placówek wyposażonych w skanery MR. Zwiększa się zarówno liczba osób zatrudnianych w pracowniach rezonansu magnetycznego, jak i liczba osób poddawanych tego typu badaniom, a co za tym idzie – liczba osób potencjalnie narażonych na zagrożenia związane z przebywaniem w polu magnetycznym. Niezbędna zatem staje się wiedza dotycząca zasad bezpieczeństwa pracy w pracowni MR i przestrzegania właściwych procedur. Ma to na celu zapewnienie ochrony pacjentom i osobom pracującym w środowisku pola magnetycznego (technicy, elektromagnetycy, pielęgniarki, lekarze radiolodzy) przed potencjalnym ryzykiem związanym z możliwością wystąpienia zdarzeń niepożądanych.

Dla ich zrozumienia konieczna jest podstawowa znajomość zasad organizacji i funkcjonowania pracowni MR, właściwej kwalifikacji i przygotowania pacjenta do badania oraz zasad przeprowadzenia badania MR i opieki nad pacjentem po badaniu. Celem artykułu jest przybliżenie tych aspektów. Omówiono w nim rodzaje stref zagrożenia występujących w środowisku pola magnetycznego oraz stosowanych oznaczeń kompatybilności sprzętów medycznych używanych w pracowniach MR, a także bezwzględne i względne przeciwwskazania do obrazowania metodą MR. Ponadto w artykule zostały zawarte informacje dotyczące specyfiki badań MR u kobiet ciężarnych, w potogu, w trakcie terapii hormonalnej. Osobny fragment pracy przedstawia skrótowo środki kontrastowe stosowane w MR i możliwe powikłania po ich podaniu.

Słowa kluczowe: rezonans magnetyczny, bezpieczeństwo, personel medyczny, pacjent.

ABSTRACT

Magnetic resonance imaging finds more and more applications in clinical practice. It is associated with a significant increase in the number of laboratory equipped with MR scanners. Both the number of people employed in magnetic resonance departments and the number of patients increases, therefore also the number of people potentially exposed to risk related with the magnetic field. Therefore, knowledge about safety at work in the MR laboratory and compliance with relevant procedures are necessary. This is to ensure protection of patients and people working in the magnetic field environment against potential risks associated with the possibility of adverse events.

To understand them, it is necessary to have basic knowledge of the physical and technical aspects of this imaging method, knowledge of the principles of functioning of the MR department, rules of proper qualification, patient preparation for the examination and the principles of proper MR and post-test examination patient care. The aim of the following article is to bring all these aspects closer. The types of hazard zones occurring in the magnetic field environment, the applied signs of compatibility of medical devices used in MR laboratories and absolute and relative contraindications to magnetic resonance imaging will be discussed. In addition, the article contains information about specificity of MR research in pregnant women, in puerperium, during hormonal therapy. A separate part of the article briefly discusses the contrast agents used in magnetic resonance and possible complications after their administration.

Key words: magnetic resonance, safety, medical staff, patient.

WSTĘP

W związku ze wzrastającym zapotrzebowaniem klinicznym na obrazowanie metodą rezonansu magnetycznego (*magnetic resonance* – MR) w ostatnich latach obserwuje się intensywny wzrost liczby pracowni diagnostyki obrazowej wyposażonych w skanery MR [1]. Fakt ten wiąże się z koniecznością szkolenia coraz większej liczby pracowników ochrony zdrowia z zakresu bezpieczeństwa MR [2, 3]. Lekarze kierujący pacjenta na badania i personel medyczny pracowni MR – technicy lub elektrolodzy, pielęgniarki, lekarze radiolodzy, muszą umieć ocenić bezpieczeństwo przeprowadzenia badania w polu magnetycznym oraz kompatybilność stosowanych u pacjentów urządzeń medycznych i implantów. Niestety, często są to pierwsze osoby informujące pacjenta o specyfice badania MR, jego bezpiecznym przeprowadzeniu oraz potencjalnych zagrożeniach. Edukacja pacjenta w tym zakresie powinna rozpocząć się już w gabinecie lekarza kierującego.

Jest to szczególnie ważne również w związku ze wzrastającą liczbą nowych implantów stosowanych u pacjentów w wielu dziedzinach medycyny. Zalecenia dotyczące bezpiecznego przeprowadzenia badania MR zostały opracowane przez grupę ekspertów i opublikowane w postaci wytycznych Amerykańskiego Kolegium Radiologii (ACR) [4].

W niniejszym artykule przedstawiono wytyczne dotyczące procedur na etapie planowania, przeprowadzania, a także po wykonaniu badaniu, w aspekcie ochrony przed wypadkami i zdarzeniami niepożądanymi związanymi z systemem MR.

STREFY ZAGROŻENIA W ŚRODOWISKU REZONANSU MAGNETYCZNEGO

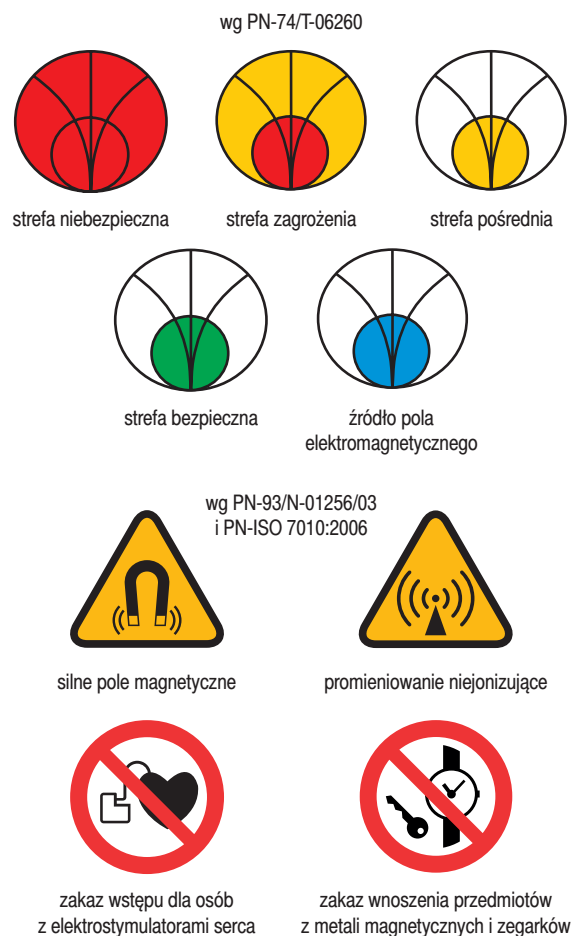
Zgodnie z wytycznymi ACR z 2013 r., dotyczącymi bezpieczeństwa w pracowniach MR, wyróżnia się cztery strefy zagrożenia [4]. Dostęp do poszczególnych stref jest ograniczony, a granica każdej strefy określona jest przez odległość od skanera MR i spełniane funkcje [4, 5].

Strefa I obejmuje wszystkie pomieszczenia ogólnodostępne, w których pole magnetyczne nie stwarza żadnych zagrożeń dla pacjentów i personelu (np. wejście do pracowni MR).

Strefa II obejmuje pomieszczenia, w których pacjenci przebywają pod ogólnym nadzorem personelu MR (np. recepcja, przebieralnia dla pacjentów, toalety).

Strefa III obejmuje pomieszczenia, do których wstęp jest ograniczony i kontrolowany. Do strefy III wstęp mają tylko pracownicy MR i pacjenci przygotowani do badania MR. Sala kontrolna, w której odbywa się przygotowanie pacjenta do badania i nadzór nad nim po badaniu, również znajduje się w strefie III.

Strefa IV to pomieszczenie, w którym znajduje się magnes (strefa ograniczona przez tzw. klatkę Fa-



Rycina 1. Znaki ostrzegawcze stosowane w pracowniach MR
Źródło: https://m.ciop.pl/CIOPPortalWAR/file/306753/c1_2.png

Figure 1. Warning signs used in MR laboratories

Source: https://m.ciop.pl/CIOPPortalWAR/file/306753/c1_2.png

radaya). Dostęp do strefy IV jest możliwy tylko przez przejście przez strefę III. Strefa IV jest zaprojektowana w taki sposób, aby obejmowała obszar zawierający pięć linii 0,5 mT (lub 5 Gaussów) pola frakcji magnesu. Linia 5 Gaussa określa granicę obszaru, w którym pole magnetyczne może wpływać na wszczepione urządzenia, takie jak rozruszniki serca [6]. W związku z powyższym w każdym pomieszczeniu pracowni MR powinny znajdować się znaki ostrzegawcze informujące o silnym polu magnetycznym i przeciwwskazaniach do przebywania w jego zakresie (ryc. 1).

PRZYGOTOWANIE PACJENTA DO BADANIA REZONANSEM MAGNETYCZNYM

Przygotowanie pacjenta do badania MR prawidłowo powinno rozpoczynać się już w gabinecie lekarza kierującego. Na podstawie wywiadu i dokumentacji medycznej jeszcze przed wypisaniem skierowania lekarz kierujący powinien określić, czy istnieją przeciwwskazania do wykonania badania MR (np. zacisk tę-

niaka z materiału ferromagnetycznego, stymulator serca, system do neurostymulacji) lub też rozważyć wszystkie korzyści i zagrożenia wynikające z przeprowadzenia badania w danym przypadku (np. pacjentka w ciąży, pacjent z niewydolnością nerek). Lekarz powinien również poinformować pacjenta o sposobie prowadzenia badania MR (np. o efektach akustycznych, pozycji pacjenta, konieczności współpracy z personelem). Optymalne jest zapoznanie się lekarzy kierujących (specjalistów z danej dziedziny) z typowym formularzem stosowanym w pracowniach MR.

FORMULARZ DLA PACJENTA WYPEŁNIANY PRZED BADANIEM REZONANSU MAGNETYCZNEGO

W dniu badania, bezpośrednio przed badaniem, na terenie pracowni MR pacjent wypełnia formularz mający na celu udokumentowanie przekazanych mu informacji. Proponowany, przykładowy formularz dla pacjentów został opracowany we współpracy z *Medical, Scientific, and Technology Advisory Board and the Corporate Advisory Board of the Institute for Magnetic Resonance Safety, Education, and Research (IMRSER)* [7].

Formularz wymaga podania ogólnych informacji dotyczących pacjenta, takich jak imię i nazwisko, wiek, płeć, wzrost, masa ciała. Konieczne jest także uzyskanie danych dotyczących ewentualnych przebytych zabiegów chirurgicznych (głównie w celu wykluczenia obecności w ciele pacjenta implantów lub urządzeń będących przeciwwskazaniem do przeprowadzenia badania lub mogących generować artefakty na obrazach), a także danych dotyczących wcześniejszych badań obrazowych, które mogą być pomocne w ocenie stanu zdrowia pacjenta i są również nieodzowne do oceny porównawczej i określenia dynamiki zmian chorobowych. Kolejne pytania dotyczą informacji o ewentualnych wcześniejszych problemach, jakie mogły pojawić się w trakcie badania MR (jeśli pacjent był takiemu poddawany), urazów oka z udziałem metalowych przedmiotów, urazów innych okolic spowodowanych metalowym ciałem obcym, aktualnych lub ostatnio zażywanych leków, a także ewentualnych alergii (w tym alergii na leki). Konieczne jest również (u pacjentów skierowanych na badanie MR wymagające podania dożylnego środka kontrastującego) uzyskanie danych dotyczących przebytych lub aktualnych chorób nerek (w tym niewydolności) – w takim przypadku chory zgłasza się do badania z aktualnym (ważnym około miesiąca) wynikiem tzw. parametrów nerkowych krwi, tj. wielkości przesączania kłębuszkowego (*glomerular filtration rate* – GFR), kreatyniny.

Ankieta zawiera również pytania dotyczące tylko kobiet – przede wszystkim ewentualnej antykoncepcji (spirale, które mogą być przeciwwskazaniem do

wykonania badania) i ciąży (zagadnienie omówione w sekcji *Ciąża a badania rezonansem magnetycznym*).

Uzyskanie odpowiedzi na pytania dotyczące daty ostatniej miesiączki, stosowania doustnych środków antykoncepcyjnych lub terapii hormonalnej jest konieczne u pacjentek poddawanych badaniu MR w celu oceny chorób piersi (mammografia MR).

Formularz powinien zawierać ostrzeżenie o niebezpieczeństwie wykonywania badania MR u pacjentów z niektórymi implantami lub urządzeniami medycznymi. Dlatego też w każdym formularzu wymienione są implanty i urządzenia, które mogą stanowić zagrożenie dla pacjenta poddanego badaniu MR lub mogą być przyczyną powstawania artefaktów utrudniających interpretację badania MR (ryc. 2.).

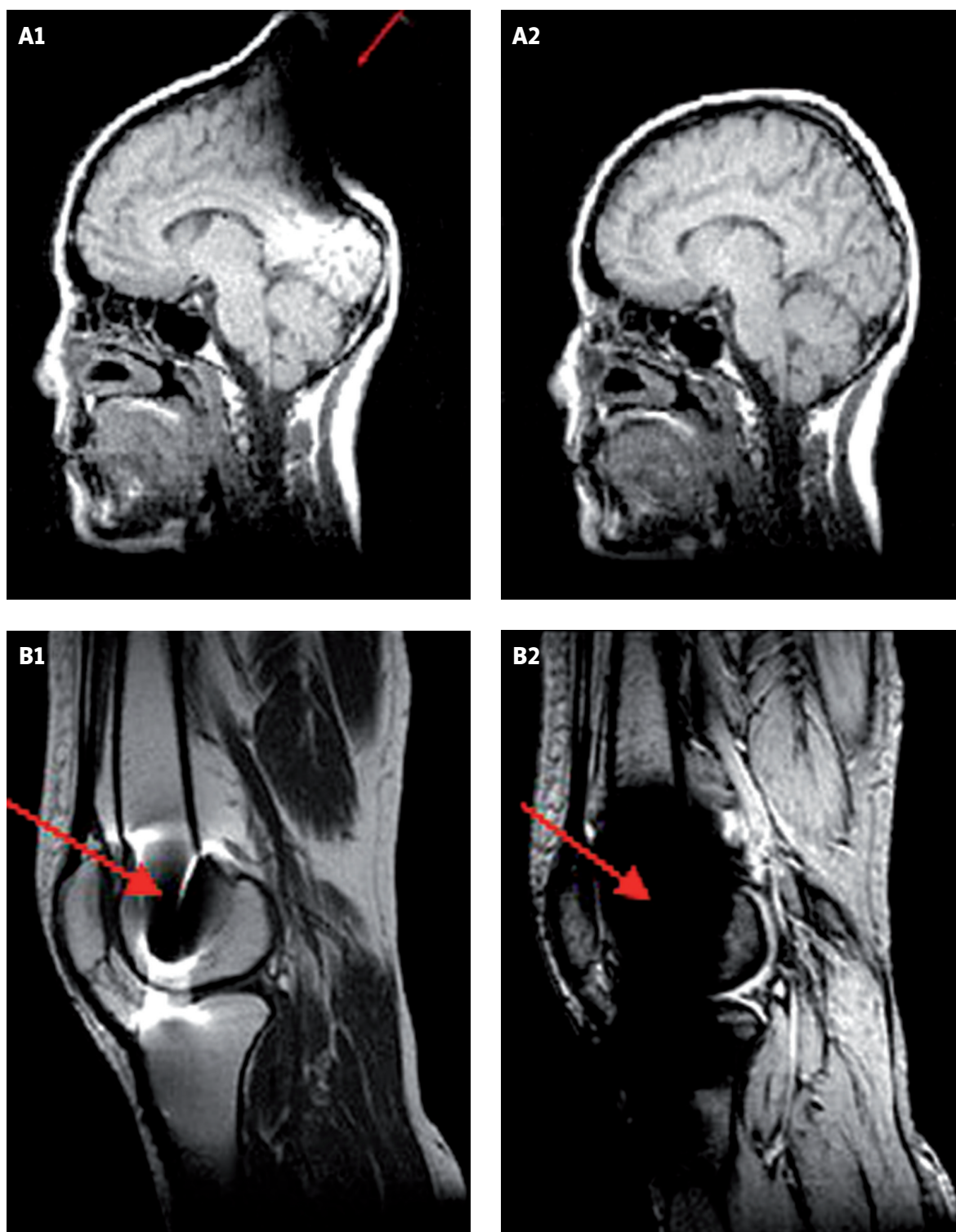
Zwykle przedmioty te są wymienione w kolejności względnego zagrożenia lub ryzyka, np. stenty, rozrusznik serca, kardiowerter defibrylator, implant elektroniczny itp. Następnie wymienione są przedmioty, które mogą powodować powstawanie artefaktów (np. tatuaże, makijaż) i utrudniać interpretację badania.

W formularzu zamieszczone jest pytanie dotyczące występowania u pacjenta klaustrofobii (przeciwwskazanie względne). W dalszej części formularza umieszczone są pytania dotyczące schorzeń przewlekłych, zwłaszcza zaburzeń czynnościowych pochodzenia nerwowego (tj. ruchy mimowolne, drżenia, tiki) oraz układu oddechowego (astma, przewlekła obturacyjna choroba płuc), które mogą być źródłem powstawania artefaktów ruchowych i oddechowych, obniżających wartość diagnostyczną badania.

Należy pamiętać, że pisemny formularz musi być wypełniony za każdym razem, gdy pacjent przygotowany jest do badania MR, a wcześniej wykonane badania MR bez zdarzeń niepożądanych nie gwarantują bezpieczeństwa kolejnych.

W przypadku gdy pacjent jest w śpiączce lub nie może samodzielnie wypełnić ankiety, powinna ją wypełnić osoba mająca wiedzę na temat historii choroby pacjenta i obecnego stanu zdrowia, np. lekarz kierujący lub członek rodziny. Jeśli informacje z przeprowadzonej ankiety są niewystarczające, wykonywane są badania dodatkowe, np. badanie rentgenowskie pozwalające potwierdzić lub wykluczyć obecność elementów metalowych lub implantów w ciele pacjenta.

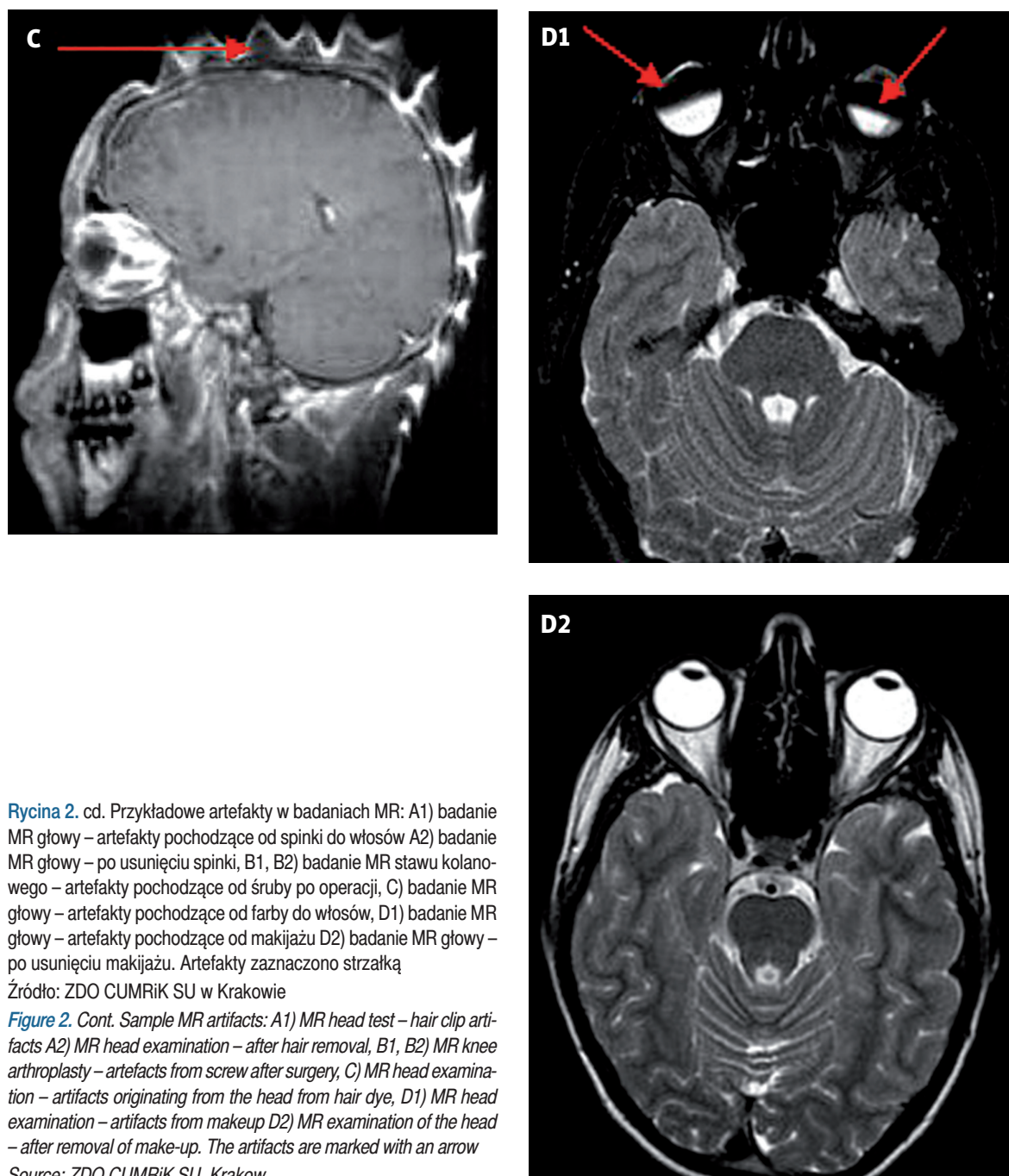
Po wypełnieniu przez pacjenta formularza dotyczącego badania rezonansu magnetycznego pielęgniarka przeprowadza rozmowę w celu zweryfikowania informacji udzielonych pisemnie i omówienia pytań lub wątpliwości pacjenta. Pozwala to uniknąć nieporozumień dotyczących istotnych kwestii bezpieczeństwa MR. Ponadto pacjent może nie być w pełni świadomy terminologii medycznej używanej w formularzu, dlatego konieczne jest omówienie zamieszczonych w nim informacji podczas rozmowy



Rycina 2. Przykładowe artefakty w badaniach MR: A1) badanie MR głowy – artefakty pochodzące od spinki do włosów A2) badanie MR głowy – po usunięciu spinki, B1, B2) badanie MR stawu kolanowego – artefakty pochodzące od śruby po operacji, C) badanie MR głowy – artefakty pochodzące od farby do włosów, D1) badanie MR głowy – artefakty pochodzące od makijażu. Artefakty zaznaczono strzałką

Źródło: ZDO CUMRiK SU w Krakowie

Figure 2. Sample MR artifacts: A1) MR head test – hair clip artifacts A2) MR head examination – after hair removal, B1, B2) MR knee arthroplasty – artefacts from screw after surgery, C) MR head examination – artifacts originating from the head from hair dye, D1) MR head examination – artifacts from makeup D2) MR examination of the head – after removal of make-up. The artifacts are marked with an arrow
Source: ZDO CUMRiK SU, Krakow



Rycina 2. cd. Przykładowe artefakty w badaniach MR: A1) badanie MR głowy – artefakty pochodzące od spinki do włosów A2) badanie MR głowy – po usunięciu spinki, B1, B2) badanie MR stawu kolanego – artefakty pochodzące od śruby po operacji, C) badanie MR głowy – artefakty pochodzące od farby do włosów, D1) badanie MR głowy – artefakty pochodzące od makijażu D2) badanie MR głowy – po usunięciu makijażu. Artefakty zaznaczono strzałką
Źródło: ZDO CUMRiK SU w Krakowie

Figure 2. Cont. Sample MR artifacts: A1) MR head test – hair clip artifacts A2) MR head examination – after hair removal, B1, B2) MR knee arthroplasty – artefacts from screw after surgery, C) MR head examination – artefacts originating from the head from hair dye, D1) MR head examination – artefacts from makeup D2) MR examination of the head – after removal of make-up. The artifacts are marked with an arrow

Source: ZDO CUMRiK SU, Krakow

bezpośredniej z pielęgniarką, a wszelkie swoje wątpliwości dotyczące samej procedury badania pacjent powinien skonsultować z technikiem lub elektroradiologiem bądź lekarzem radiologiem jeszcze przed badaniem.

Jeżeli występuje konieczność zastosowania u danego pacjenta dodatkowych sprzętów medycznych (np. zbiorniki tlenu, monitory, respirator), po zakończeniu weryfikacji formularza, a przed wprowadzeniem pacjenta do pomieszczenia skanera MR, personel powinien dokładnie sprawdzić kompatybilność tych urządzeń z systemem MR. W pomieszczeniu

skanera MR mogą być stosowane tylko – potwierdzone specjalnym certyfikatem – sprzęty nieferromagnetyczne (w tym wózki, nosze i inne akcesoria; ryc. 3).

Należy również pamiętać, że każda osoba niebędąca pacjentem ani personelem medycznym pracowni (np. rodzic, krewny, pracownik ochrony zdrowia, pracownik obsługi technicznej, pracownik opieki), zanim zostanie wpuszczona do pomieszczenia ze skanerem MR, musi zostać poddana kontroli bezpieczeństwa – czyli wykluczenia ewentualnych przeciwwskazań do przebywania w polu magnetycznym (wg formularza dla pacjenta) [8].

PRZED BADANIEM – WSKAZÓWKI DLA PACJENTÓW

Przygotowanie pacjenta do badania zależy od rodzaju badania i badanej okolicy. Tak zwane przeglądowe badanie MR jest przeprowadzane bez specjalnego przygotowania. W przypadku konieczności podania środka kontrastującego jest wymagane pozostanie na czczo (bez posiłków) przez 4–6 godzin. W dniu badania pacjent powinien przyjąć stale przyjmowane leki.

Każdy pacjent powinien pamiętać, aby okolica badana została oczyszczona z produktów kosmetycznych, których skład może przyczyniać się do powstawania artefaktów (np. makijaż twarzy, lakiery do włosów, zmywalne tatuaże).




W przypadku MR piersi (mammografia MR) badanie powinno być wykonane między 6. a 13. dniem cyklu, a u kobiet stosujących hormonalną terapię zastępczą zaleca się wykonanie badania 4 tygodnie po jej odstawieniu.

Do rejestracji pracowni MR pacjent powinien zgłosić się ok. 20 min przed wyznaczonym terminem badania w celu wypełnienia formularza i przygotowania się do badania. Gdy procedura badania przewiduje podanie dożylnego środka kontrastowego, konieczne jest założenie wkłucia dożylnego (wenflonu) przez pielęgniarkę w pomieszczeniu nadzoru pielęgniarskiego.

Przed wejściem do pomieszczenia skanera MR pacjent musi zostać poinformowany przez pielęgniarkę o konieczności pozostawienia w przebieralni wszystkich metalowych i elektronicznych przedmiotów, w tym aparatów słuchowych, protez, kluczy, telefonów komórkowych, okularów, spinek do włosów, biżuterii, zegarka, pieniędzy (monet), kart kredytowych, kart bankowych, długopisów, narzędzi z metalowymi zapięciami i odzieży z metalowymi elementami. Tuż przed rozpoczęciem badania pacjent otrzymuje od pielęgniarki stopery do uszu mające stanowić ochronę słuchu przed zagrożeniem związanym z hałasem akustycznym występującym w trakcie badania.

Po ułożeniu pacjenta na stole w skanerze MR przez technikę lub elektroradiologa pacjent otrzymuje przycisk dźwiękowy umożliwiający zasygnalizowanie personelowi ewentualną konieczność przerwania badania.

W większości przypadków badań kontrastowych MR środek kontrastowy jest podawany dożylnie przez pielęgniarkę pacjentowi leżącemu na stole skanera w pomieszczeniu systemu MR bezpośrednio po wykonaniu wstępnej, przeglądowej fazy badania. W przypadku niektórych procedur MR (np. angiografia miednicowo-kończynowa, aortografia) środek kontrastowy jest podawany za pomocą strzykawki automatycznej, programowanej przez pielęgniarkę lub technikę lub elektroradiologa.

	bezpieczne względem MR
	warunkowo bezpieczne względem MR
	niebezpieczne względem MR

Rycina 3. Oznakowania kompatybilności materiałów medycznych względem MR

Źródło: Podręcznik użytkownika aparatu MR

Figure 3. Marks of compatibility of medical materials relative to MR

Source: MR User's Manual

Po badaniu z dożylnym podaniem środka kontrastowego, pacjent powinien przez ok. 30 minut pozostawać pod obserwacją pielęgniarską w celu wykrycia ewentualnych wczesnych reakcji niepożądanych. Dopiero po tym terminie usuwany jest wenflon.

ŚRODKI KONTRASTOWE STOSOWANE W OBRAZOWANIU REZONANSEM MAGNETYCZNYM

Stosowane w badaniach MR środki kontrastowe to chelaty gadolinowe o różnej stabilności, lepkości i osmolalności [9]. Chelaty gadolinowe są ogólnie dobrze tolerowanymi środkami kontrastowymi, o niewielkiej częstości występowania działań niepożądanych. Najczęstsze z nich to: nudności, wymioty, bóle głowy, ciepło lub ból w miejscu wstrzyknięcia, parestezje, zawroty głowy, niewielka wysypka, zaczerwienienie skóry [9–12]. Cięższe reakcje alergiczne, w tym pokrzywka i skurcz oskrzeli, zdarzają się bardzo rzadko, stanowią 0,004–0,7% przypadków [11]. Ciężkie, zagrażające życiu anafilaktoidalne lub niealergiczne reakcje anafilaktyczne występują z częstością 0,001–0,01% [11, 13], a śmiertelne reakcje są wyjątkowo rzadkie [9, 11].

Zastosowanie chelatów gadolinowych u osób z ostrą niewydolnością nerek lub ciężką przewlekłą chorobą nerek może być przyczyną wystąpienia nerko-pochodnego włókienia układowego (*nephrogenic systemic fibrosis* – NSF) [10]. Nie ma natomiast doniesień dotyczących ryzyka wystąpienia NSF u pacjentów z prawidłową czynnością nerek [11, 12].

Należy pamiętać, że przy planowaniu podania środka kontrastowego kobiecie karmiącej piersią konieczne jest poinformowanie jej o zaprzestaniu karmienia na okres podany przez producenta w ulotce zawierającej informację o leku (zwykle 24–48 godzin).

WSKAZANIA I PRZECIWWSKAZANIA DO WYKONANIA BADANIA REZONANSEM MAGNETYCZNYM

Wskazania

Rezonans magnetyczny jest nieinwazyjną, bezpromienną metodą obrazowania ciała człowieka. Pozwala na uzyskiwanie dowolnych obrazów przekrojów ciała, a ciągły rozwój nowych technik MR pozwala na diagnostykę obrazową coraz większej

liczby schorzeń. W ostatnich latach badanie MR stało się złotym standardem w niektórych jednostkach chorobowych, np. zawale serca (ocenie blizny pozawałowej), raku prostaty, schorzeniach zapalnych jelit (enterografia), raku odbytnicy (kwalifikacja do leczenia operacyjnego i monitorowanie efektów radiochemioterapii). O odpowiedniej procedurze diagnostycznej na podstawie badania fizykalnego i historii choroby decyduje wstępnie lekarz kierujący pacjenta na badanie.

Tabela 1. Wybrane wskazania do badania rezonansem magnetycznym w zależności od diagnozowanego schorzenia

Table 1. Selected indications for MR examination depending on the diagnosed condition

Rodzaj badania	Grupy schorzeń
MR głowy	<ul style="list-style-type: none"> • choroby otępienne, np. choroba Alzheimera • choroby dys- i demielinizacyjne, np. stwardnienie rozsiane • stany zapalne mózgowia, opon • nowotwory mózgu pierwotne i wtórne • zaburzenia rozwojowe OUN • choroby naczyniowe, m.in. diagnostyka wczesnego udaru
MR przysadki mózgowej	<ul style="list-style-type: none"> • diagnostyka makro- i mikrogruczolaków • ocena okolicy podwzgórzowo-przysadkowej
MR głowy metodą perfuzji	<ul style="list-style-type: none"> • choroby naczyniowe, zwłaszcza diagnostyka wczesnego udaru • ocena procesu rozrostowego w obrębie mózgowia, różnicowanie między obrzękiem, niedokrwieniem a guzem
spektroskopia MR	<ul style="list-style-type: none"> • różnicowanie między procesem rozrostowym a niedokrwieniem, ocena efektów chemio- i radioterapii guzów mózgu, ocena wznowy miejscowej, ocena rozległości procesu nowotworowego • procesy degeneracyjne, naczyniopochodne mózgowia, zespoły otępienie, psychozy endogenne
MR oczodołów	<ul style="list-style-type: none"> • ocena zmian wewnątrzgałkowych (urazy, zmiany degeneracyjne) • nowotwory pierwotne i wtórne • ocena nerwów wzrokowych
MR twarzoczaszki	<ul style="list-style-type: none"> • ocena nacieków zapalnych i nowotworowych, poszukiwanie wznowy • wady wrodzone
MR szyi	<ul style="list-style-type: none"> • ocena węzłów chłonnych • ocena nacieków nowotworowych w stosunku do pęczków naczyniowo-nerwowych
MR kręgosłupa	<ul style="list-style-type: none"> • ocena rdzenia, korzeni i nerwów rdzeniowych, opon, aparatu więzadłowego, przestrzeni podpajęczynówkowych, nadtwardówkowej • ocena patologii krążka międzykręgowego i struktur kostnych
MR kości i stawów	<ul style="list-style-type: none"> • ocena zmian pourazowych: aparatu więzadłowego, tkanki chrzęstnej, torebki stawowej stawów • stany zapalne kości i stawów • choroba zwyrodnieniowa stawów • nowotwory kości i stawów, ocena rozległości nacieków nowotworowych, ich stosunku do jamy szpikowej, istoty korowej, ocena nacieków nowotworowych z tkanek miękkich na kość • kontrola po leczeniu onkologicznym, zwłaszcza poszukiwanie wznowy • anomalie rozwojowe
MR serca	<ul style="list-style-type: none"> • choroba niedokrwienności serca • kardiomiopatie • wady serca i dużych naczyń • ocena nacieków nowotworowych mięśnia sercowego i osierdzia • diagnostyka i kontrola po leczeniu operacyjnym wad serca
MR jamy brzusznej	<ul style="list-style-type: none"> • schorzenia zapalne i nowotworowe narządów mięsnych: wątroby, śledziony, trzustki, nadnerczy, nerek • ocena wznowy procesu npl • ocena węzłów chłonnych
MR miednicy małej	<ul style="list-style-type: none"> • badanie z wyboru do oceny zmian nowotworowych narządu rodowego, prostaty, odbytnicy • ocena pęcherza moczowego w procesach nowotworowych i zapalnych • ocena schorzeń zapalnych jelit
cholangiografia MR (MRCP)	<ul style="list-style-type: none"> • ocena pęcherzyka żółciowego, dróg żółciowych i przewodu Wirsunga, w przypadku podejrzenia kamicy, procesu nowotworowego, zapalnego
enterografia MR	<ul style="list-style-type: none"> • ocena jelita cienkiego pod kątem procesu nowotworowego, zapalnego (np. choroba Leśniowskiego-Crohna), przetok, wad rozwojowych

Rzeczywisty protokół badania jest ustalany indywidualnie przez lekarza radiologa na podstawie dokumentacji medycznej, najnowszej wiedzy dotyczącej obrazowania danego schorzenia oraz analizy wyników dostarczonych badań. Lekarz radiolog ma prawo zmodyfikować procedurę badania w zależności od problemu klinicznego, z zachowaniem wszystkich standardów, wybierając najlepszy sposób diagnostyki dla danego pacjenta.

Obrazowanie metodą rezonansu magnetycznego jest przydatne w wielu dziedzinach medycyny (m.in. neurologii, neurochirurgii, kardiologii, ortopedii, chirurgii, gastroenterologii, ginekologii i położnictwie). Wybrane wskazania do badań MR przedstawiono w tabeli 1.

Przeciwwskazania

Przeciwwskazania do wykonania badania MR wynikają z wytwarzania przez skanery MR pola magnetycznego, które może zakłócać działanie urządzeń elektrycznych, w tym rozruszników serca i neurostymulatorów. Osoby z wszczepionymi urządzeniami elektronicznymi i elektrycznymi nie mogą być poddawane temu badaniu.

Bezwzględne przeciwwskazania obejmują w szczególności: rozruszniki serca (starszego typu), pompy insulinowe, niektóre wszczepione aparaty słuchowe, neurostymulatory, wewnątrzczaszkowe metalowe klipsy, metalowe ciała obce oka lub okolicy oka.

ROZRUSZNIK SERCA A OBRAZOWANIE METODĄ REZONANSU MAGNETYCZNEGO

Aktualnie wszczepiane są zarówno rozruszniki będące bezwzględny przeciwwskazaniem do wykonania badania (*MR unsafe*), jak i rozruszniki dopuszczalne do badania przy zachowaniu ścisłych wytycznych producenta (*MR conditional* – stymulator warunkowy). Pierwsze rozruszniki tego typu stały się dostępne na początku 2011 r. Posiadanie rozrusznika typu *MR conditional* nie gwarantuje 100-procentowego bezpieczeństwa podczas rezonansu magnetycznego, ale przy zachowaniu odpowiednich warunków badania można zminimalizować ryzyko wystąpienia powikłań [14, 15]. Należy pamiętać, że nie ma rozruszników serca oznaczonych jako *MR safe*. Przed badaniem MR pacjent wymaga wizyty na oddziale kardiologicznym w celu określenia warunków bezpieczeństwa i prawidłowego zaprogramowania stymulatora na czas skanowania za pomocą MR. Badanie najczęściej odbywa się pod kontrolą kardiologa. Podczas badania pacjent musi być monitorowany za pomocą pulsoksymetru, pomiarów ciśnienia krwi i EKG, a personel przeprowadzający badanie musi przebyć odpowiednie wymagania szkoleniowe. Po zakończonym badaniu kardiolog ponownie zmienia tryb pracy stymulatora.

CIĄŻA A BADANIA REZONANSEM MAGNETYCZNYM

Zgodnie z wytycznymi ustalonymi przez *American College of Radiology (ACR)* i *Society for Pediatric Radiology (SPR)* można wykonywać obrazowanie MR płodu lub ciężarnej kobiety, gdyż nie ma dowodów na szkodliwe efekty obrazowania MR na rozwijający się płód – dotyczy to skanerów $\leq 1,5$ T [16–18]. Konieczna jest jednak w każdym przypadku ocena stosunku ryzyka do korzyści wynikających z przeprowadzonego badania, co wymaga współpracy radiologa i lekarza prowadzącego [4]. Teoretycznie badanie MR może odbyć się w dowolnym czasie trwania ciąży, jednak przyjęto, że diagnostykę prenatalną MR wykonuje się powyżej 19. tygodnia życia płodu, w II lub III trymestrze (ryc. 4.), a diagnostykę kobiety ciężarnej – w dowolnym okresie ciąży.

W przypadku konieczności wykonania badania MR z „przyczyn matczynych” (podejrzenie choroby u matki) do dokumentacji medycznej pacjentki dołączone powinny zostać oświadczenia o tym, że:

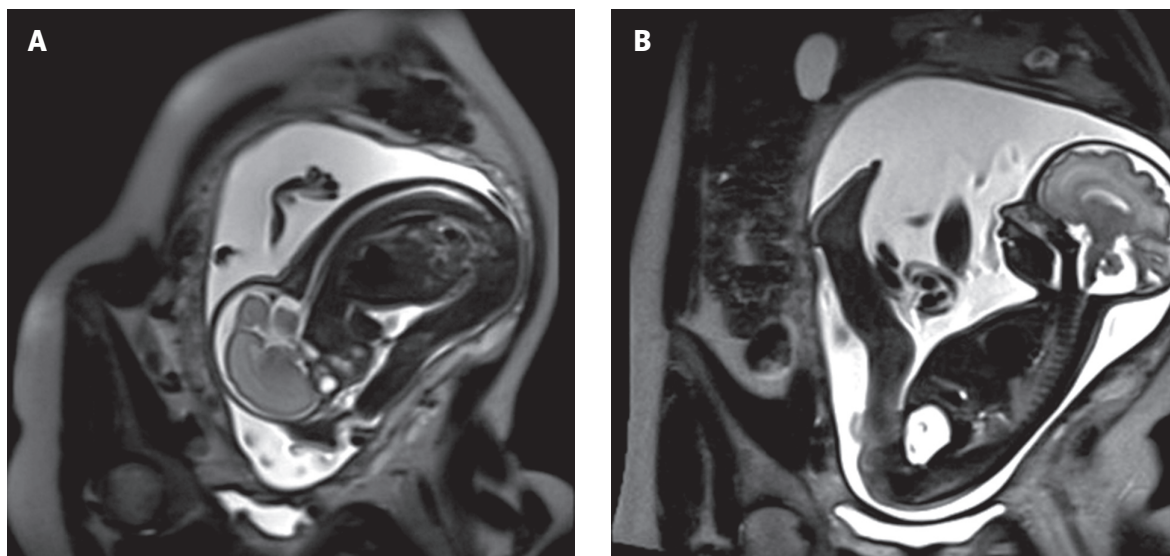
- informacji uzyskanych z badania MR nie można uzyskać za pomocą innych, bezpiecznych dla płodu metod, np. ultrasonografii,
- informacje uzyskane z badania MR są potrzebne, aby potencjalnie wpłynąć na opiekę nad pacjentką w czasie ciąży,
- lekarz kierujący uważa, że nierozsądne byłoby czekanie na uzyskanie danych z badania MR do momentu, aż pacjentka nie będzie już w ciąży.

Zgodnie z wytycznymi zaleca się, aby każdy przypadek był dokładnie przeanalizowany przez członków zespołu klinicznego i radiologicznego, a dożylnie środki kontrastowe podawane tylko wtedy, gdy korzyści dla pacjentki lub płodu przewyższają możliwe, ale nieznane ryzyko. Środki kontrastowe na bazie gadolinu są w konsekwencji klasyfikowane jako leki C w ciąży, ponieważ potencjalne korzyści mogą uzasadniać ich stosowanie u ciężarnych pomimo potencjalnego ryzyka [4, 19].

Ostateczną decyzję o wykonaniu badania MR w przypadku względnych przeciwwskazań podejmuje lekarz radiolog.

INNE PRZECIWWSKAZANIA

W związku z właściwościami fizycznymi techniki obrazowania podczas badania MR istnieje ryzyko podwyższenia temperatury w tkankach sąsiadujących z wszczepionymi częściami metalowymi, takimi jak: protezy stawów biodrowych, klipsy naczyniowe, metalowe szwy, ciała obce (w lokalizacji innej niż oko), które stanowią względne przeciwwskazanie do badania, jeśli obszar badania obejmuje te elementy. Przeciwwskazaniem względnym może być także klaustrofobia u chorego. U pacjentów z bardzo nasilonymi objawami klaustrofobii konieczne jest wykonanie badania w znieczuleniu ogólnym lub nawet odstąpienie od badania.



Rycina 4. Badanie MR płodu: A) w II trymestrze ciąży; B) w III trymestrze ciąży

Źródło: Archiwum dr hab. med. I. Herman-Sucharskiej

Figure 4. Fetal MR examination: A) in the second trimester of pregnancy; B) in the third trimester of pregnancy

Source: Archive of dr hab. med. I. Herman-Sucharska

PODSUMOWANIE

Bezpieczeństwo związane z obrazowaniem metodą rezonansu magnetycznego jest w znacznej mierze związane ze znajomością fizycznych i technicznych aspektów tej metody obrazowania. Wymaga również znajomości zasad stosowania środków kontrastowych, procedur oraz standardów pracy obowiązujących w pracowni MR. Dlatego też wszystkie osoby będące członkami zespołu pracowni MR: lekarz, pielęgniarka, technik lub elektoradiolog, powinni być szkoleni w zakresie obowiązujących przepisów i ich aktualizacji.

Oświadczenie

Autorzy deklarują brak konfliktu interesów.

Piśmiennictwo

1. Sammet S. Magnetic resonance safety. *Abdom Radiol (NY)* 2016; 41: 444-451.
2. Chakeres DW, de Vocht F. Static magnetic field effects on human subjects related to magnetic resonance imaging systems. *Prog Biophys Mol Biol* 2005; 87: 255-265.
3. Feychting M. Health effects of static magnetic fields – a review of the epidemiological evidence. *Prog Biophys Mol Biol* 2005; 87: 241-246.
4. Expert Panel on MRS. Kanal E, Barkovich AJ, Bell C i wsp. ACR guidance document on MR safe practices: 2013. *J Magn Reson Imaging* 2013; 37: 501-530.
5. Fuentes MA, Trakic A, Wilson SJ i wsp. Analysis and measurements of magnetic field exposures for healthcare workers in selected MR environments. *IEEE Trans Biomed Eng* 2008; 55: 1355-1364.
6. Sammet CL, Yang X, Wassenaar PA i wsp. RF-related heating assessment of extracranial neurosurgical implants at 7T. *Magn Reson Imaging* 2013; 31: 1029-1034.
7. IMRSE. Dostępne na: <http://www.imrser.org> (dostęp 27.11.2018 r.).
8. MRI Safety. Dostępne na: <http://www.mrisafety.com> (dostęp 27.11.2018 r.).
9. Thomsen HS. Contrast media: safety issues and esur guidelines. Springer, Berlin 2006.
10. Chopra T, Kandukurti K, Shah S i wsp. Understanding nephrogenic systemic fibrosis. *Int J Nephrol* 2012; 2012: 912189.
11. ACR [online]. Dostępne na: <https://www.acr.org/Clinical-Resources/Contrast-Manual> (dostęp 27.11.2018 r.).
12. Behra-Miellet J, Gressier B, Brunet C i wsp. Free gadolinium and gadodiamide, a gadolinium chelate used in magnetic resonance imaging: evaluation of their in vitro effects on human neutrophil viability. *Methods Find Exp Clin Pharmacol* 1996; 18: 437-442.
13. Dillman JR, Ellis JH, Cohan RH i wsp. Safety of gadolinium-based contrast material in sickle cell disease. *J Magn Reson Imaging* 2011; 34: 917-920.
14. Kaasalainen T, Pakarinen S, Kivisto S i wsp. MRI with cardiac pacing devices – Safety in clinical practice. *Eur J Radiol* 2014; 83: 1387-1395.
15. Strom JB, Whelan JB, Shen C i wsp. Safety and utility of magnetic resonance imaging in patients with cardiac implantable electronic devices. *Heart Rhythm* 2017; 14: 1138-1144.
16. Baker PN, Johnson IR, Harvey PR i wsp. A three-year follow-up of children imaged in utero with echo-planar magnetic resonance. *Am J Obstet Gynecol* 1994; 170 (1 Pt 1): 32-33.
17. Chew S, Ahmadi A, Goh PS i wsp. The effects of 1.5T magnetic resonance imaging on early murine in-vitro embryo development. *J Magn Reson Imaging* 2001; 13: 417-420.
18. Clements H, Duncan KR, Fielding K i wsp. Infants exposed to MRI in utero have a normal paediatric assessment at 9 months of age. *Br J Radiol* 2000; 73: 190-194.
19. Gilk T, Kanal E. Interrelating sentinel event alert #38 with the ACR guidance document on MR safe practices: 2013. An MRI accreditation safety review tool. *J Magn Reson Imaging* 2013; 37: 531-543.